

太空氣象

青年科學知識叢書 2

廖學鎰 著

太 空 氣 象

廖 學 鎰 著



幼 獅 書 店 印 行

序

晚近歐美各國科學突飛猛進，自其研究領域言，由機械而電子核子，由征服地球而征服太空，成果輝煌，呈現空前異彩。我民族智慧卓越，往古之科學成就亦高，徒以乏人提倡，迄今遂顯然落後遠甚。本公司基於國家及青年的需要，特聘請國內名教授執筆，出版青年科學知識叢書一套，分輯發行，先出第一輯十本，內容着重核子及太空科學方面知識介紹，將來計劃再出版續輯，介紹其他科學，作為有志青年在研究進程上登高行遠之助。尚祈教育學術界及社會各方人士多予指教合作，俾克普遍推廣，是所企禱。

幼獅文化事業股份有限公司

五十五年十月



廖 學 鎰

臺灣省嘉義縣人，現年四一歲，
國立臺灣大學物理系畢業，日本氣象
研究所研究，主修雷達氣象學及颱風
預報，學成歸國，曾任臺灣省氣象局
預報科長，主持天氣預報颱風預報工
作及臺灣大學物理系教授並曾代表我
國出席世界氣象組織主辦之颱風會議
及氣象衛星資料應用之檢討會議。現
任中央大學地球物理研究所教授。

目 錄

一、太空與高空之分界何在？	1
(一)高空大氣探測之經過	1
(二)地球大氣之上限	8
(三)高空與太空之界面	10
(四)太空氣象學	12
二、太陽爲太陽系之主宰	14
(一)太陽爲地球上一切天氣現象之主宰	14
(二)地球爲一輻射體	17
(三)太陽大氣	25
(四)太陽能源之解釋	33
三、太陽風爲太陽系之主風	37
(一)太陽風發現之經過	37
(二)地球爲日冕中之冷體	42
(三)日冕之擴張	43
(四)太陽風之熱度	45
(五)太陽風之磁場	47
(六)太空船證實太陽風之存在	50
(七)太陽風所及之範圍	53
(八)恒星風	55
四、范艾倫輻射帶	56

(一)宇宙射線與蓋革氏計數管.....	56
(二)范艾倫輻射帶發現之經過.....	58
(三)人造輻射帶.....	65
(四)內輻射帶.....	67
(五)外輻射帶.....	68
(六)磁 層.....	69
(七)行星之輻射帶.....	74
五、極光與夜光.....	75
(一)極 光.....	75
(二)輻射與原子構造.....	76
(三)極光之光譜.....	80
(四)極光之形態.....	83
(五)極光之生成結構.....	86
(六)極光之運動.....	87
(七)極光與極電的噴流.....	92
(八)黃道光與夜光.....	96
六、太空環境與太空飛行.....	98
七、夜 光 雲.....	107
(一)夜光雲之形狀.....	109
(二)人造夜光雲.....	111
(三)夜光雲之火箭探測.....	112
(四)貝 母 雲.....	115

八、行星大氣之氣象學.....	117
(一)行星大氣.....	117
(二)水手二號太空船對金星之探測.....	118
(三)水手四號太空船對火星之探測.....	120
(四)木星大氣與土星大氣.....	125
(五)行星大氣之起源與進化.....	130
九、衛星氣象學.....	133
(一)氣象衛星是什麼？.....	133
(二)氣象衛星之構造.....	135
(三)氣象衛星資料之處理及傳遞.....	137
(四)自動傳真(APT).....	139
(五)氣象衛星之發展經過.....	140

一、太空與高空之分界何在？

(一) 高空大氣探測之經過

如何劃分高空與太空之界面，久爲科學者之研究課題，也爲研究國際太空法者，迫切需要解決之問題。在訂定大氣上限與太空界面以前，必先明瞭人類探測大氣之經過，與高空大氣的知識。

人類對於高空大氣之探測，始於十八世紀中葉。最初所用之工具爲風箏與探空氣球，此等風箏與探空氣球，攜帶氣壓、氣溫以及濕度之自記儀器上升，其所測得之各種記錄，必須等待收回自記儀器之後始可得之。由這些資料人類已獲知：每升高一公里，大氣溫度平均減低約攝氏六度。在垂直方面，每增高一定距離，氣溫減少之值，常稱爲氣溫直減率，或簡稱爲直減率。當時人類以爲大氣氣溫直減率爲每公里六度，直達大氣上限。於是應用流體靜力方程，估計大氣上限高度，而得五十公里。容後將說明其理論。

地球表面上之廣大空氣，受重力之牽引，皆有其向下之重量，故地面上單位水平面積上空氣柱之重量，即爲大氣之壓力，簡稱爲氣壓。至於大氣中任何高度之氣壓，係以單位水平面積以上空氣柱之重量表示之。高度愈高，其上方空氣柱之質量愈少，故其氣壓亦愈小，直至氣壓爲零之處，即爲大氣上限。若在大氣中某一點，升高 Δz 之高度，由於其上方單位橫截面

空氣柱之質量，減少 $\rho \cdot \Delta z$ (ρ 為空氣密度)。故其重量由牛頓運動第二定律，即減少 $\rho g \Delta z$ (g 為重力加速度)。此值應相當為氣壓之減少量 Δp ，故吾人可以得到：

$$\Delta p = -\rho g \Delta z \quad (1)$$

由於高度升高時 (即 $\Delta z > 0$)，氣壓應減小 (即 $\Delta p < 0$)，故式中附加負號表明之。此即為流體靜力方程。係代表氣壓定理的公式。若以 $R (= 2.87 \times 10^6 \text{ 爾格/克} \cdot \text{度})$ 代表空氣之氣體常數， T 代表氣溫 (絕對溫度)，吾人所熟知之空氣狀態方程，可以寫作：

$$p = \rho RT \quad (2)$$

引用此方程代入 (1) 式，消去 ρ ，於是流體靜力方程可以改寫為：

$$\Delta p = -\frac{pg}{RT} \Delta z \quad (3)$$

令地球表面上之氣壓、氣溫及空氣密度，各以 p_0 、 T_0 及 ρ_0 代表之；任意高度(z)處之各物理量，以 p 、 T 及 ρ 代表之；大氣溫度直減率以 Γ 代表之 ($\Gamma > 0$)，則

$$T = T_0 - \Gamma z \quad (4)$$

若以此條件，求取微分方程 (3) 之解答，可得：

$$\begin{aligned} \frac{p}{p_0} &= \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{g}{R\Gamma}} = \left(\frac{T_0 - \Gamma z}{T_0} \right)^{\frac{g}{R\Gamma}} \\ &= \left(1 - \frac{\Gamma z}{T_0} \right)^{\frac{g}{R\Gamma}} \quad (5) \end{aligned}$$

由於氣壓 p 爲零之處，即爲大氣上限，此高度以 H 代表，由(5)式可以求得其值爲：

$$H = \frac{T_0}{\Gamma} \quad (6)$$

由此式可以看出，吾人若知道地面氣溫 T_0 ，與氣溫直減率 Γ ，可以算出大氣上限之高度 H 。於茲假定地面氣溫爲攝氏27度。其絕對溫度 T_0 即等於300度；而氣溫直減率 Γ 爲每公里六度，由(6)式可以算出此種大氣上限之高度爲：

$$H = \frac{T_0}{\Gamma} = \frac{300 \text{ 度}}{6 \text{ 度/公里}} = 50 \text{ 公里} \quad (7)$$

1898年段浦 (Teisserenc de Bort) 氏，利用探空氣球，測得高空大氣之溫度，在十三公里高度附近，即停止下降，有時且微有上升之現象，是爲高空大氣結構之首次重要發現。1908年蕭訥伯 (Sir Napier Shaw) 爵士認爲，此種溫度分佈狀態與大氣運動有密切之關係，遂命名其下層爲對流層，其上層爲平流層，二者之分界面爲對流層頂，是爲高空大氣分層研究之嚆矢。

當氣溫直減率 Γ 消逝時，由(4)式可知，大氣中之溫度將爲定值 T_0 ，則此種大氣稱之爲等溫大氣。若假定對流層頂以上之大氣爲等溫大氣，而以 p_0 、 T_0 及 ρ_0 代表對流層頂之氣壓、氣溫及空氣密度；以 p 、 T 及 ρ 代表對流層頂以上，任意高度處之氣壓、氣溫及空氣密度，吾人由(3)式可以求得其解答爲：

$$\frac{p}{p_0} = e^{-\frac{gz}{RT_0}} \quad (8)$$

式中 e 爲一自然對數之底數，其數值等於2.718。由此可知，氣壓必依指數函數之方式，向上遞減，但其高度應增至無限高，氣壓才會消逝。換而言之，對流頂以上之大氣，若假定爲等溫大氣，則大氣自地球表面向上無限伸展。

第一次世界大戰以後，過去探測高空大氣所用之風箏，逐漸被淘汰而爲飛機所代替。惟此種方法，因受器材與經濟之限制，難以普遍實施，不久亦被放棄。1927年開始有應用無線電的探空儀——稱爲「雷送」(Radiosonde)之發明，吾人可利用氣球，將此種儀器攜帶至高空大氣中，同時可將氣壓、氣溫以及濕度之記錄，經過無線電發報機，立即傳達地面，無須等待儀器之收回。以後再將所用無線電頻率提高，並在地面以一定向天線或雷達，連續記錄其空中位置，即氣溫、氣壓、濕度等要素以外，尚可推算高空中風向與風速。此種無線電探空儀，常稱之爲「雷文送」(Rawinsonde)。目前世界各國所採用之儀器型類方式，雖不完全一致，但高空氣象探測儀器，「雷送」或「雷文送」之施放，成爲經常一般的工作。這些氣象儀器，由氣球攜帶上升所達到的最大高度約爲30公里左右。

除以上所述直接探測方法以外，高空大氣亦可以各種間接方法探測之。如吾人可由聲波之傳播，來推測高空大氣之溫度分佈；由流星之明滅來推測高空大氣之密度；由太陽、極光、

夜光之光譜分析，來推測高空大氣之成份；由無線電波之傳播，來推測高空大氣之游子密度等。這些間接探測方法所得之結果，不但可以補助直接探測資料之不足，同時亦可以互相驗證，以確定其真實性。此外，間接法之正確度，大部份依靠其推理時所使用理論之真實性，故理論之研究亦極其重要。

第二次世界大戰以後，美國曾於1946年至1952年間，利用自德國俘獲之V-2火箭，及自製之女兵(WAC Coporal)，空蜂(Aerobee)與海盜(Viking)等各式火箭，以及女兵與V-2合成之瘤式(Bumer)二級火箭，分在新墨西哥州之白沙試驗場(White Sands Proving Ground)(圖1—1)，及加拿大之邱吉爾堡試驗場(Fort Churchill)(圖1—2)，對高空大氣作有計劃之探測，所得之結果至為豐碩。此等探空火箭所測得之資料，包括氣壓、氣溫、密度、風向及風速、大氣成份、電子密度、地球磁場、對地攝影、太陽輻射、宇宙射線、流星以及夜光等。此等資料在美國高空大氣火箭研究委員會領導下，經許多科學家之研究，曾有極重要之貢獻，使吾人對於高空大氣之結構，得到進一步之瞭解。

為瞭解地球物理學諸問題，世界各國科學研究者合作舉辦國際地球物理年觀測。此觀測起於1957年7月，迄於1958年12月，為時計18月。其間蘇俄與美國，先後發射人造衛星成功，繼之發射各式太空船，於是一度沉寂之高空大氣研究工作，復見活躍。人造衛星之儀器裝置技術，大都自火箭探測之

經驗發展而來，惟其儀器之應用更爲廣泛。由此得到之資料，使吾人對高空大氣之結構，益爲明瞭。雙重高度輻射能帶環繞地球外圍，即所謂范艾倫輻射帶，亦爲此時期中之重要發現。

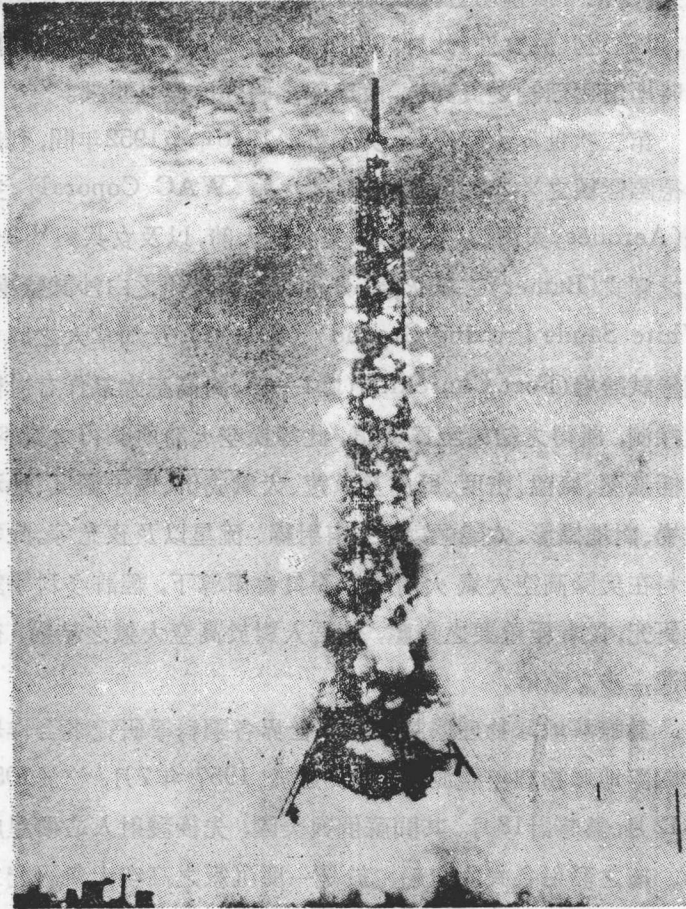


圖 1—1：在美國新墨西哥州之白沙試驗場，空蜂火箭發射之場面。

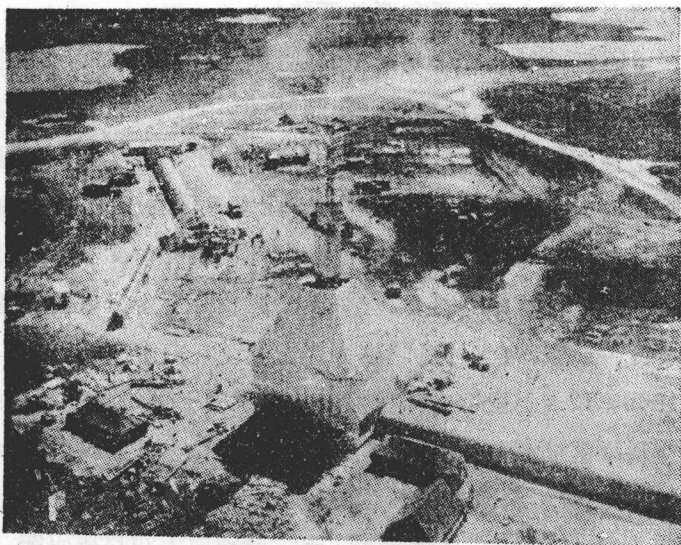


圖 1—2：美國在加拿大之邱吉爾堡火箭試驗場，位於北緯59度，西經94度，靠近加拿大哈得孫灣。

在國際地球物理年結束之後，美國爲經常取得「雷文送」能達到高空以上之資料，乃於1960年著手建立，一定期性之氣象火箭網，主要分佈於美國及加拿大境內，使用落奇(Loki)單級火箭，及凱蒂(Kitty)兩級火箭，每處每週發射火箭一枚，所得資料彌足珍貴，使吾人對高空大氣之認識，增益不少。

國際地球物理年過去後，各國之國際地球物理觀測工作仍繼續執行，其影響且更深入於人類社會。以火箭與人造衛星觀測一端而言，已暢開太空科學研究的門徑，並使人類開始從事於星際航行的探測。太空科學研究，不僅是學術上的發展，

且爲當前保衛人類世界和平的要訣。

太陽活動以十一年爲周期，在國際地球物理年，適爲太陽活動周期之最高點。而自1964年至1965年間，適又爲太陽活動周期之最低點。各種地球物理現象與太空中各物理現象，常隨太陽活動之盛衰而變易。因此在前國際地球物理年所觀測的結果，須與太陽活動比較寧靜的時期作比較的觀測，以體察地球與太空物理現象之變化，與太陽活動相互產生因果的關係。基於此一原委，經世界各國學術界之協商，訂定自1964年4月至1965年12月爲國際太陽寧靜年，作爲另一個地球物理以及太空科學觀測活動的階段。其主要觀測項目，大體仍與國際地球物理年相彷彿，即着重於地磁、極光、夜光、電離層、超高大氣學 (Aeronomy)、太陽活動、宇宙射線與太空科學研究。鑒於其成果之優越，國際太陽寧靜年雖已過去，但國際地球物理與太空科學觀測工作迄未終止。

(二) 地球大氣之上限

由於火箭以及其他間接方法之探測，吾人已知，對流層頂以上至約35公里高度，大致屬於等溫之氣層。然後氣溫即開始上升，直至50公里處，達其最高溫度，通常此處稱爲平流層頂，而對流層頂至平流層頂間氣層，稱爲平流層。平流層頂以上高度，氣溫再行降低，直至約85公里處即再達到溫度最低層，此處常稱爲中氣層頂，而這層氣溫隨高度而降低之氣層，即稱爲

中氣層。所謂增溫層，則在中氣層頂上，其溫度隨高度而逐漸增加，直至約 1000 公里高度，溫度再趨於定值，此處常稱之爲增溫層頂。

若以 p_0 、 T_0 及 ρ_0 代表中氣層頂之氣壓、氣溫及密度，吾人可以求得在增溫層中之氣壓 p 隨高度之改變，完全與 (8) 式相等之解答。即

$$\frac{p}{p_0} = e^{-\frac{gz}{T_0}} \quad (9)$$

氣壓依指數函數之方式向上遞減，但可伸展達無限高。總之，大氣隨高度之變化情形，大致循指數函數向上遞減，這種推理結果，與火箭及人造衛星所測得之資料亦甚符合。因之，氣象學者認爲：地球上之大氣，自其固體或液體表面上，伸展至無限高度。該處之空氣已接近於星際太空之密度。

實際上對流層既包含約四分之三的大氣質量，而平流圈包含約四分之一的大氣質量，至於中氣層以上，僅有十萬分之一的大氣質量，實係微不足道。茲以實例來說明，即在 80 公里左右之高度，大氣之密度僅足以散射日光，至可見程度；在 600 公里左右高度，大氣密度已稀薄至不再存在氣體之典型特性，而其自由分子之運動路徑，已增長至可認爲地球引力範圍橢圓軌道之一部份；在 1000 公里高度，大氣密度仍足以產生易於觀察之極光效應，可見其稀薄程度；在地面以上約 30,000 公里，地球重力已無法吸引大氣分子，故此高度可認爲大氣之最高極限。

以上所述之推理，是假定大氣分子完全保持中性，以地球引力爲主要作用力，而得之結果。但實際大氣中的空氣分子，常自90公里高度起，逐漸開始游離生成游子，其游離程度隨高度而增多。太空科學上，常以質點一詞來代表，原子、分子、游子、電子等總稱。由於高空大氣中包含有多量帶電質點，因此地球磁場將成爲主要作用力，地球引力比此種磁場作用要小得多，常可忽略不計。以地球磁場爲主要作用力之大氣圈，常稱之爲磁層。晚近太空船之探測，已證實磁層頂之存在（請參閱第四章），故以磁層頂爲大氣上限看待，尙無不可。如此說法，即大氣之上限，大略爲六萬公里高度。

（三）高空與太空之界面

前節中所示者，完全依靠地球氣象學之觀點敘述。現今人造衛星航行之場所，最低約在一百多公里處，通常認爲該處已在太空中。故以上所述各觀點而訂定之大氣上限，視爲高空與太空之界面，與吾人之慣用太空字義，有甚大之偏差，實不適宜。

美國空軍劍橋研究所之氣候部門主任許謝溫（N. Sissenwine）氏，同時又兼任美國標準大氣擴展委員會主席，似爲自科學技術觀點對本問題，作解答之權威人士。他建議以100公里高爲界，當然此項界面僅人爲劃定之規定面，並非絕對適當。似亦可在100至200公里間，任選一高度爲界，或即定